

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-99654
(P2001-99654A)

(43)公開日 平成13年4月13日(2001.4.13)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 1 C 17/30

識別記号

F I
G 0 1 C 17/30

データベース(参考)
A

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平11-282497
(22)出願日 平成11年10月4日(1999.10.4)

(71)出願人 000010098
アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町1番7号
(72)発明者 山沢 清人
長野県長野市松代町城東90番地
(72)発明者 佐藤 敏郎
長野県長野市若里186-1 グランドハイツ
若里305号室
(72)発明者 駒井 栄一
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内
(74)代理人 100085453
弁理士 野▲崎▼ 照夫

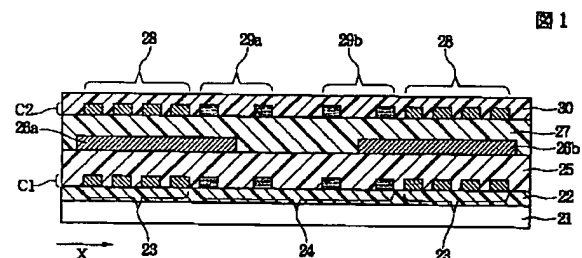
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フラックスゲートセンサ及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 従来のフラックスゲートセンサは、磁性層の周囲にソレノイド状のコイルを形成する必要や、薄膜磁性層の厚さ方向に外部磁界を印加する必要があった。

【解決手段】 励磁コイル23及び検出コイル24並びに励磁コイル28及び検出コイル29a、29bを同一平面上に形成し、励磁コイル23及び検出コイル24の上部、励磁コイル28及び検出コイル29a、29bの下部に磁性層26a、26bを形成することにより、製造を容易にし感度を向上させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 交流電流が流されて誘導磁界を発生させる励磁コイルと、前記誘導磁界が流れる磁性層と、前記磁性層を介して流れる誘導磁界によって電圧が誘起される検出コイルとを有するフラックスゲートセンサにおいて、

前記励磁コイルは、基板上にスパイラル形状に巻回されて形成されており、前記検出コイルは前記励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に形成されて前記励磁コイルとともにコイル層を形成しており、さらに前記磁性層が、前記励磁コイルおよび前記検出コイルの上部または下部に形成されていることを特徴とするフラックスゲートセンサ。

【請求項2】 前記励磁コイル及び前記検出コイルからなるコイル層が、前記磁性層の上下に形成されている請求項1に記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項3】 上下に位置する前記励磁コイルどうし、および前記検出コイルどうしがそれぞれ直列に接続されている請求項2に記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項4】 前記磁性層が複数設けられ、それぞれの前記磁性層が、前記励磁コイル及び前記検出コイルに重なる位置に配置されている請求項1ないし3のいずれかに記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項5】 平面状に巻き形成された前記励磁コイルの前記平面上で対向する部分の上部または下部に前記複数の磁性層のそれぞれが重ねられており、前記励磁コイルの内周側または外周側に形成された複数の前記検出コイルが共に同じ巻き方向に形成されて、それぞれの前記検出コイルが別々の前記磁性層に対向している請求項4に記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項6】 前記複数の検出コイルが、8の字コイル形状となるように互いに接続されている請求項5に記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項7】 平面状に巻き形成された前記励磁コイルの前記平面上で対向する部分の内周側あるいは外周側に前記検出コイルが一对、前記励磁コイルが前記平面上で対向する他の部分の内周側あるいは外周側にさらに前記検出コイルが一对設けられている請求項5または6に記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項8】 前記磁性層は、1 MHzでの透磁率が1000以上の磁性材料からなる請求項1ないし7のいずれかに記載のフラックスゲートセンサ。

【請求項9】 前記磁性層は、組成式が $\text{Fe}_h\text{M}_i\text{O}_j$ で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30 nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜として形成されている請求項1ないし8のいずれかに記載のフラックスゲートセンサ。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq$

$i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h + i + j = 100$ の関係を満足するものである。

【請求項10】 前記磁性層は、組成式が $(\text{Co}_{1-c}\text{T}_c)_x\text{M}_y\text{X}_z\text{O}_w$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜として形成されている請求項1ないし8のいずれかに記載のフラックスゲートセンサ。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y + z + w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【請求項11】 前記磁性層は、組成式が $\text{Co}_1\text{T}_m\text{Hf}_n$ で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜として形成されている請求項1ないし8のいずれかに記載のフラックスゲートセンサ。ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項12】 (a)基板上に、前記励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(b)前記励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に前記検出コイルを形成する工程と、(c)前記励磁コイルおよび前記検出コイルからなるコイル層の上層に磁性層を積層する工程と、を有することを特徴とするフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項13】 前記(c)の工程の後に、(d)前記磁性層上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(e)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを前記磁性層と重なるように形成する工程と、を有する請求項12に記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項14】 前記(c)の工程の後に、(f)他の基板上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(g)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを形成する工程と、(h)前記他の励磁コイルと他の検出コイルの上層に絶縁層を積層する工程と、(i)前記(c)の工程で形成された磁性層と、前記(h)の工程で形成された前記絶縁層とを、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルが前記磁性層と重なるように、貼り合わせる工程と、を有する請求項12に記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項15】 前記(b)の工程の後に、(j)他の

基板上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(k)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを形成する工程と、(l)前記基板と前記他の基板の間に磁性層を挟み込ませ、前記(a)の工程で形成された前記励磁コイルおよび前記(b)の工程で形成された前記検出コイルと、前記(j)の工程で形成された前記他の励磁コイルおよび前記(k)の工程で形成された前記他の検出コイルとが、前記磁性層に重なるように、前記基板と前記他の基板とを貼り合わせる工程と、を有する請求項12に記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項16】 前記(a)の工程での前記励磁コイルと前記(b)の工程での検出コイルを同時に形成する請求項12ないし15のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項17】 前記他の励磁コイルと他の検出コイルを同時に形成する請求項13ないし16のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項18】 前記励磁コイルと前記他の励磁コイルとを直列に接続し、さらに前記検出コイルと前記他の検出コイルとを直列に接続する工程を有する請求項13ないし17のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項19】 前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置する請求項12ないし14のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項20】 前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、前記(e)の工程において、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置する請求項13記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項21】 前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、前記(i)の工程において、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置する請求項14記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項22】 前記(l)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、且つ前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置する請求項15記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項23】 前記磁性層を、1MHzでの透磁率が

1000以上の磁性材料によって形成する請求項12ないし22のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。

【請求項24】 前記磁性層を、組成式が $\text{Fe}_h\text{M}_i\text{O}_j$ で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜として形成する請求項12ないし23のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【請求項25】 前記磁性層を、組成式が $(\text{Co}_{1-c}\text{Tc})_x\text{M}_y\text{X}_z\text{O}_w$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜として形成する請求項12ないし23のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【請求項26】 前記磁性層を、組成式が $\text{Co}_l\text{Ta}_m\text{Hf}_n$ で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜として形成する請求項12ないし23のいずれかに記載のフラックスゲートセンサの製造方法。ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、交流励磁された軟磁性材料からなる磁心に外部磁界が印加されたときに検出コイルからの出力電圧特性が変化するいわゆるフラックスゲートセンサに係り、特に、測定時に磁心に発生する反磁界の影響を少なくでき、外部磁界の検出感度を向上させることのできるフラックスゲートセンサ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】フラックスゲートセンサは、磁気変調型磁界センサの一種であり、常温において使用でき、また小型化及び高感度化が容易であり、微小磁界を直接計測

するためのセンサとして優れた特徴を有する。

【0003】図12は、フラックスゲートセンサの基本構造を示す概念図である。フラックスゲートセンサは基本的に、軟磁性材料からなる磁心と、前記磁心を交流励磁させるための励磁コイルと、出力を取り出すための検出コイルからなる。励磁コイルに基本周波数の交流電流を流すことによって励磁磁界を発生させ、前記磁心を素子長手方向(X方向)に交流励磁する。前記磁心が交流励磁されると前記検出コイルには、誘導電流が発生し、前記検出コイルの両端に電圧が誘起される。

【0004】図13と図14は、図12のフラックスゲートセンサによる磁界検出の原理を説明するための図である。

【0005】前記励磁コイルに基本周波数の交流電流を流すと、基本周波数の励磁磁界が発生し、前記磁心を励磁させる。前記磁心の励磁に伴って、前記検出コイルに鎖交する磁束密度が変化し、検出コイルに誘導電流が発生し、前記検出コイルの両端に電圧が誘起される。図13の励磁波形は基本周波数の励磁磁界の波形であり、検出電圧波形は前記検出コイルの両端に誘起された電圧の波形である。

【0006】図13は、前記磁心に外部磁界が印加されていないときの状態を示している。前記磁心に外部磁界が印加されていないとき、励磁波形と検出電圧波形は同じ形である。

【0007】図14は、前記磁心の長手方向に外部磁界H_{ex}が印加されたときの状態を示している。前記磁心の長手方向に外部磁界H_{ex}が印加されると、図13のB-H曲線(ヒステリシス曲線)は、外部磁界方向に移動し、磁心の磁束密度の対称性が崩れて、検出電圧波形に含まれる基本周波数に対する偶数次の高調波成分が増加する。

【0008】この偶数次の高調波成分の増加分が、外部磁界H_{ex}の大きさに対応する。検出電圧波形の偶数次の高調波成分は、信号処理回路や同期整流によって基本波成分から分離される。

【0009】上述した原理に基づいて動作する、薄膜形成プロセスを用いて形成されたフラックスゲートセンサの従来例を図15に示す。

【0010】図15のフラックスゲートセンサでは、まず、Si等からなる基板1上にSiO₂等からなる無機絶縁層2が積層され、無機絶縁層2上に励磁コイル5の下層部5bと検出コイル6の下層部6bがAlなどの導電性材料を用いてパターン形成されている。前記下層部5b及び6b上にポリイミド等からなる有機絶縁層3を介して、パーマロイなどの軟磁性材料によって磁心4が棒状に形成される。有機絶縁層3は磁心4の上層も覆っており、有機絶縁層3上に励磁コイル5の上層部5aと検出コイル6の上層部6aが積層されている。励磁コイル5の上層部5aと下層部5b、及び検出コイル6の上

層部6aと下層部6bは、螺旋状に接続されて、磁心4の周囲を巻回するソレノイド状のコイルを形成している。

【0011】励磁コイル5の両端部に基本周波数の交流電流を流すことによって励磁磁界を発生させ、磁心4を素子長手方向(X方向)に交流励磁する。磁心4が交流励磁されると検出コイル6には誘導電流が発生し、検出コイル6の両端部に電圧が誘起される。磁心4の長手方向(X方向)に外部磁界H_{ex}を印加し、検出コイル6の出力に含まれる基本周波数に対する偶数次の高調波成分の変化を測定することにより、外部磁界H_{ex}を測定する。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図15に示されるフラックスゲートセンサには、以下に示す欠点があった。

【0013】図15に示されるフラックスゲートセンサでは、励磁コイル5の上層部5aと下層部5b、及び検出コイル6の上層部6aと下層部6bとを、磁心4の周囲を巻回するように螺旋状に接続して、ソレノイド状のコイルを形成している。しかし、図15のように、励磁コイル5の上層部5a及び検出コイル6の上層部6aを磁心4及び有機絶縁層3からなる段差上で正確にパターン形成することは困難であり、製造上の誤差が大きくなり、また不良品の発生率も高くなるという問題が生じていた。

【0014】製造上の困難を避けるために、励磁コイル及び検出コイルを平面上にパターン形成したフラックスゲートセンサが、特開平8-201061号公報に開示されている。

【0015】図16は、特開平8-201061号公報に開示されたフラックスゲートセンサの平面図である。図16のフラックスゲートセンサは、低抵抗材料の薄膜をパターニングして形成されたコイル12a、12b(励振コイル)の内側に高透磁率材料薄膜11a、11bが形成されている。さらに、高透磁率材料薄膜11a、11bを取り巻くように低抵抗材料の薄膜をパターニングして形成されたコイル(受信コイル13、フィードバックコイル14)が形成されている。

【0016】しかし、図16のフラックスゲートセンサは、コイル12a、12b(励振コイル)の内側に高透磁率材料薄膜11a、11bが形成されているため、高透磁率材料薄膜11a、11bは、薄膜の厚さ方向(紙面垂直方向)に励磁され、検出対象の外部磁界H_{ex}も薄膜の厚さ方向(紙面垂直方向)に印加される。従って、外部磁界H_{ex}が印加されたときに外部磁界H_{ex}と逆方向に発生する反磁界の影響が大きくなり、外部磁界H_{ex}の検出感度が低下するという問題が生じていた。

【0017】本発明は上記従来の課題を解決するための

ものであり、特に励磁コイルと検出コイルを同一平面上に形成し、さらに磁性層を前記励磁コイル及び検出コイルの上部または下部に配置することにより、製造を容易にでき反磁界の影響も少なくできるフラックスゲートセンサ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、交流電流が流されて誘導磁界を発生させる励磁コイルと、前記誘導磁界が流れる磁性層と、前記磁性層を介して流れる誘導磁界によって電圧が誘起される検出コイルとを有するフラックスゲートセンサにおいて、前記励磁コイルは、基板上にスパイラル形状に巻回されて形成されており、前記検出コイルは前記励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に形成されて前記励磁コイルとともにコイル層を形成しており、さらに前記磁性層が、前記励磁コイルおよび前記検出コイルの上部または下部に形成されていることを特徴とするものである。

【0019】本発明のフラックスゲートセンサは、前記検出コイルは前記励磁コイルと同一平面上に形成されているので、検出コイル及び励磁コイルを、段差を持たせた構造で形成する必要がなくなる。従って、前記検出コイル及び前記励磁コイルの形成が容易になり、正確にパターン形成することが可能になるので、製造上の誤差を小さくでき、不良品の発生率を抑えることができる。

【0020】また、本発明では、前記励磁コイルがスパイラル形状で形成されており、さらに、前記磁性層が前記励磁コイルの上部または下部に形成されているので、前記磁性層は前記励磁コイルから発生する磁界によって面方向に励磁される。従って、検出対象の外部磁界が前記磁性層の面方向に印加されたときに、最も外部磁界の検出感度が高くなる。前記磁性層の面方向は最も反磁界係数が低くなる方向なので、外部磁界が前記磁性層の面方向に印加されたときの反磁界の影響は小さく、外部磁界の検出感度を向上させることができる。

【0021】また、前記励磁コイル及び前記検出コイルからなるコイル層が、前記磁性層の上下に形成されていると、外部磁界の検出感度が向上するので好ましい。

【0022】前記励磁コイル及び前記検出コイルからなるコイル層が、前記磁性層の上下に形成されているとき、上下に位置する前記励磁コイルどうし、および前記検出コイルどうしがそれぞれ直列に接続されていることが好ましい。

【0023】また、前記磁性層が複数設けられ、それぞれの前記磁性層が、前記励磁コイル及び前記検出コイルに重なる位置に配置されることができる。

【0024】さらに、平面状に巻き形成された前記励磁コイルの前記平面上で対向する部分の上部または下部に前記複数の磁性層のそれぞれが重ねられており、前記励磁コイルの内周側または外周側に形成された複数の前記検出コイルが共に同じ巻き方向に形成されて、それぞれ

の前記検出コイルが別々の前記磁性層に対向していると、前記検出コイル間で、交鎖する磁束密度の非対称性を大きくさせることができ、前記検出コイルを差動接続して検出出力を取り出すことにより出力電圧を大きくさせることができる。すなわち、外部磁界の検出感度を向上させることができる。

【0025】また、前記複数の検出コイルを差動接続するために、例えば、前記複数の検出コイルは8の字コイル形状となるように互いに接続されている。

【0026】また、平面状に巻き形成された前記励磁コイルの前記平面上で対向する部分の内周側あるいは外周側に前記検出コイルが一对、前記励磁コイルが前記平面上で対向する他の部分の内周側あるいは外周側にさらに前記検出コイルが一对設けられていると、外部磁界磁界の大きさのみでなく方向も検出することができる。

【0027】なお、前記磁性層は、1MHzでの透磁率が1000以上の磁性材料からなることが好ましい。

【0028】また、前記磁性層は、高周波励磁に適した、比抵抗の大きい軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成されることが好ましい。例えば、前記磁性層は、組成式が $\text{Fe}_h\text{M}_i\text{O}_j$ で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜として形成されることができる。

【0029】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【0030】或いは、前記磁性層は、組成式が $(\text{Co}_{1-c}\text{Tc})_x\text{M}_y\text{X}_z\text{O}_w$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜として形成されることができる。

【0031】ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【0032】または、前記磁性層は、組成式が $\text{Co}_l\text{T}_m\text{Hf}_n$ で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜として形成されることができる。

【0033】ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n$

≤2.5の関係を満足するものである。

【0034】この他、Co-Fe-Si-B系のCo基アモルファス軟磁性薄帯が好ましく用いられる。

【0035】また、本発明のフラックスゲートセンサの製造方法は、(a)基板上に、前記励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(b)前記励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に前記検出コイルを形成する工程と、(c)前記励磁コイルおよび前記検出コイルからなるコイル層の上層に磁性層を積層する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0036】また、前記(c)の工程の後に、(d)前記磁性層上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(e)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを前記磁性層と重なるように形成する工程と、を有すると、前記励磁コイル及び前記検出コイルからなるコイル層が、前記磁性層の上下に形成されたフラックスゲートセンサを形成できる。

【0037】または、前記励磁コイル及び前記検出コイルからなるコイル層が、前記磁性層の上下に形成されたフラックスゲートセンサを形成するために前記(c)の工程の後に、(f)他の基板上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(g)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを形成する工程と、(h)前記他の励磁コイルと他の検出コイルの上層に絶縁層を積層する工程と、(i)前記(c)の工程で形成された磁性層と、前記(h)の工程で形成された前記絶縁層とを、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルが前記磁性層と重なるように、貼り合わせる工程と、を有してもよい。

【0038】また、前記(b)の工程の後に、(j)他の基板上に、他の励磁コイルをスパイラル形状に巻回して形成する工程と、(k)前記他の励磁コイルの内周側または外周側の同一平面上に他の検出コイルを形成する工程と、(l)前記基板と前記他の基板の間に磁性層を挟み込ませ、前記(a)の工程で形成された前記励磁コイルおよび前記(b)の工程で形成された前記検出コイルと、前記(j)の工程で形成された前記他の励磁コイルおよび前記(k)の工程で形成された前記他の検出コイルとが前記磁性層に重なるように、前記基板と前記他の基板とを貼り合わせる工程と、を有してもよい。

【0039】本発明では、前記(a)の工程での前記励磁コイルと前記(b)工程での検出コイルを同時に、メッキ法やスパッタ法などで、形成することができる。また、前記他の励磁コイルと他の検出コイルを同時に形成することもできる。

【0040】さらに、前記励磁コイルと前記他の励磁コイルとを直列に接続し、さらに前記検出コイルと前記他の検出コイルとを直列に接続する工程を有することが好ましい。

【0041】また、前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置することができる。

【0042】前記磁性層を複数の分割された磁性層から形成する場合には、前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、前記(e)の工程において、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置することが好ましい。

【0043】または、前記(c)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、前記(i)の工程において、前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置することが好ましい。

【0044】または、前記(l)の工程において、平面上に並ぶ複数の前記磁性層を設け、前記複数の磁性層のそれぞれを、前記励磁コイルと前記検出コイルに重なる位置に配置し、且つ前記他の励磁コイルと前記他の検出コイルを前記複数の磁性層のそれぞれに重なるように配置することが好ましい。

【0045】また、前記磁性層を、1MHzでの透磁率が1000以上の磁性材料によって形成することが好ましい。

【0046】具体的には、前記磁性層を、組成式が Fe_hMiO_j で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜として形成することができる。

【0047】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【0048】また、前記磁性層を、組成式が $(Co_{1-c}Tc)_xMyX_zO_w$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜として形成することができる。

【0049】ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%

で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【0050】あるいは、前記磁性層を、組成式が $\text{Co}_1\text{Ta}_m\text{Hf}_n$ で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜として形成することができる。

【0051】ただし、 1 、 m 、 n はat%で、 $70 \leq 1 \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【0052】この他、 $\text{Co}-\text{Fe}-\text{Si}-\text{B}$ 系のCo基アモルファス軟磁性薄帯が好ましく用いられる。

【0053】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施の形態を示す断面図である。

【0054】図1に示されたフラックスゲートセンサは、基板21上に絶縁層22を介して励磁コイル23と検出コイル24とが同一平面上に形成されてコイル層C1が形成されている。検出コイル24は、励磁コイル23の内周側に形成されている。しかし、検出コイル24が、励磁コイル23の外周側に形成されていてもよい。

【0055】さらに、コイル層C1上に絶縁層25を介して磁性層26a、26bが形成されている。

【0056】図1では、磁性層26a、26b上に絶縁層27が積層されて、この絶縁層27上に、励磁コイル28と検出コイル29a、29bとが同一平面上に形成されてコイル層C2が形成されている。検出コイル29a、29bは、励磁コイル28の内周側に形成されている。しかし、検出コイル29a、29bが、励磁コイル28の外周側に形成されていてもよい。コイル層C2は、絶縁層30によって覆われて保護される。

【0057】なお、励磁コイル23、28はスパイラル形状に巻回されている。また、図1のフラックスゲートセンサでは、励磁コイル23と励磁コイル28は直列に接続されている。また、検出コイル29a、検出コイル24、及び検出コイル29bも直列に接続されている。

【0058】基板21はガラス、Si、 SiO_2 、 Al_2O_3 などで形成され、絶縁層22、25、27、30はポリイミド樹脂などの有機材料あるいは SiO_2 、 Al_2O_3 などの無機材料で形成されている。

【0059】励磁コイル23、28と検出コイル24、29a、29bはCu、Alなどの導電性材料からなる。なお、磁性層26a、26bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0060】本発明では、検出コイル24及び励磁コイル23は同一平面上に形成されているので、検出コイル24及び励磁コイル23を、段差を持たせた構造で形成する必要がなくなる。従って、検出コイル24及び励磁コイル23の形成が容易になり、正確にパターン形成することが可能になるので、製造上の誤差を小さくでき、不良品の発生率を抑えることができる。また、図1では、検出コイル29a、29b及び励磁コイル28も同

一平面上に形成されており、正確にパターン形成することができる。

【0061】また、本発明では、コイル層の上面を絶縁層で覆って、この絶縁層の上面を平坦面とすることが容易になるので、コイル層を2層または3層以上重ねて形成することが容易になる。重ねて形成された複数のコイル層の励磁コイルどうし、検出コイルどうしを直列接続することにより、励磁コイル及び検出コイルの巻数を増やして励磁用の交流電流を小さくすることや検出感度を向上させることができる。

【0062】また、本発明では、磁性層26a、26bが、励磁コイル23の上部また励磁コイル28の下部に形成されており、さらに励磁コイル23、28はスパイラル形状に巻回されているので、磁性層26a、26bは励磁コイル23、28から発生する磁界によって面方向に励磁される。従って、検出対象の外部磁界が磁性層26a、26bの面方向（図示X方向）に印加されたときに、最も外部磁界の検出感度が高くなる。磁性層26a、26bの面方向は最も反磁界係数が低くなる方向なので、外部磁界が磁性層26a、26bの面方向に印加されたときの反磁界の影響は小さく、外部磁界の検出感度を向上させることができる。

【0063】図4は、図1のフラックスゲートセンサの磁性層26a、26b、励磁コイル23、及び検出コイル24を図1の上方から見た平面図である。また、図5は、図1のフラックスゲートセンサの励磁コイル28及び検出コイル29a、29bを図1の下方から見た平面図である。すなわち、図1のフラックスゲートセンサでは、図4と図5に表された面どうしが対向している。

【0064】図4の検出コイル24は、第1の検出コイル24aと第2の検出コイル24bが8の字コイル形状となるように接続されて形成されている。第1の検出コイル24aと第2の検出コイル24bの両方とも、内周側からの巻方向は左巻きになっている。

【0065】検出コイル29aと検出コイル29bの内周側からの巻方向は、図5では両方とも右巻きになっているが、これは図5が図1のフラックスゲートセンサを下方から見た平面図であるためである。検出コイル29aと検出コイル29bを上方から見ると両方とも左巻きなり、第1の検出コイル24a及び検出コイル29b並びに第2の検出コイル24b及び検出コイル29aは、それぞれ巻方向を同じにして重なり合っている。

【0066】また、第1の検出コイル24aの端部24a1と検出コイル29bの端部29b1とが、図1の絶縁層25及び27に接続層（図示せず）が形成されることにより接続され、また、第2の検出コイル24bの端部24b1と検出コイル29aの端部29a1とが、図1の絶縁層25及び27に接続層（図示せず）が形成されることにより接続される。従って、検出コイル29a、24、29bは直列に接続されている。

【0067】また、励磁コイル23の端部23aと励磁コイル28の端部28aとが、図1の絶縁層25及び27に接続層（図示せず）が形成されることにより接続され、励磁コイル23と28は直列に接続されている。

【0068】なお、交流励磁用の交流電流は、励磁コイル23の端部23bと励磁コイル28の端部28bから入力され、出力電圧は、検出コイル29aの端部29a2と検出コイル29bの端部29b2とから取り出される。

【0069】図4に示されるように、磁性層26aは励磁コイル23の辺23cの上部に配置され、磁性層26bは励磁コイル23の辺23cに対向する辺23dの上部に配置されている。辺23cに矢印 I_1 方向の電流が流れているときには、辺23dには矢印 I_1 と反対方向を向いている矢印 I_2 方向の電流が流れている。また、磁性層26a及び26bの上部に励磁コイル28が重ねられる。

【0070】これらの対向して配置された磁性層26a及び26bのそれぞれの下部に第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24bが重ねられている。また、磁性層26a及び26bのそれぞれの上部に検出コイル29b及び検出コイル29aが重ねられる。

【0071】図6は、図1のフラックスゲートセンサに図示X方向から外部磁界 H_{ex} を印加したときのある瞬間における状態図である。

【0072】図6の状態では、励磁コイル23、28に交流電流が流されることにより交流磁界Hが発生し、磁性層26a、26bが励磁されている。図6に示されるように、磁性層26aと磁性層26bに加わる交流磁界Hの向きは反対になる。ここで、図6の横方向から外部磁界 H_{ex} を印加すると、磁性層26aでは外部磁界 H_{ex} と交流磁界Hが強め合い、磁性層26bでは弱め合う。

【0073】磁性層26a及び26bの端部から漏れる磁束を検出コイル24、29a、29bによって磁束電圧として検出する。

【0074】第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24b間並びに検出コイル29a及び検出コイル29b間で、交鎖する磁束密度の非対称性を大きくさせることができる。第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24b間並びに検出コイル29a及び検出コイル29bは差動接続されているので、交鎖する磁束密度の非対称性を大きくさせることで出力電圧を大きくさせることができる。すなわち、外部磁界の検出感度を向上させることができる。

【0075】なお、第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24b並びに検出コイル29a及び検出コイル29bがそれぞれ8の字コイル形状なるように接続されると、出力電圧から基本波成分を除くことができるようになる。

【0076】図2は本発明の第2の実施の形態を示す断面図である。基板31上に絶縁層32を介してスパイラル形状の励磁コイル33と8の字コイル形状の検出コイル34とが同一平面上に形成されてコイル層C1が形成され、コイル層C1上に絶縁層35を介して磁性層36a、36bが形成された後、磁性層36a、36bの隙間が絶縁材料37によって埋められて多層膜Aが形成される。なお、磁性層36a、36bは、励磁コイル33と検出コイル34に重なる位置に配置される。

【0077】一方、基板38上に絶縁層39を介してスパイラル形状の励磁コイル40と検出コイル41a、及び検出コイル41bとが同一平面上に形成されているコイル層C2上に絶縁層42が積層されて多層膜Bが形成される。

【0078】多層膜Aと多層膜Bを、磁性層36a、36bと絶縁層42とを、磁性層36a及び36bと励磁コイル40が重なり、磁性層36aと検出コイル41aが重なり、さらに磁性層36bと検出コイル41bが重なるように、対向させて貼り合わせたものが、図2に示されたフラックスゲートセンサである。

【0079】基板31、38はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、絶縁層32、35、39、42、及び絶縁材料37はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0080】励磁コイル33、40と検出コイル34、41a、41bはCu、Alなどの導電性材料からなる。

【0081】なお、磁性層36a、36bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0082】図2のフラックスゲートセンサにおいても、コイル層C1、磁性層36a、36b、コイル層C2の形状、位置関係は図1、図4、及び図5に示された第1の実施の形態のフラックスゲートセンサと同じである。従って、図2のフラックスゲートセンサも、第1の実施の形態のフラックスゲートセンサと同じ作用・効果を奏することができる。

【0083】図3は本発明の第3の実施の形態を示す断面図である。基板51上にスパイラル形状の励磁コイル52と8の字コイル形状の検出コイル53とが同一平面上に形成されてコイル層C1が形成され、コイル層C1上に絶縁層54が積層されて多層膜Aが形成される。

【0084】一方、基板55上にスパイラル形状の励磁コイル56と検出コイル57a及び検出コイル57bとが同一平面上に形成されているコイル層C2上に絶縁層58が積層されて多層膜Bが形成される。

【0085】多層膜Aと多層膜Bを、基板51と基板55を対向させ、基板51と基板55の間に磁性層59a、59bを、挟んで貼り合わせたものが、図3に示されたフラックスゲートセンサである。磁性層59a、5

9bは、励磁コイル52と検出コイル53に重なる位置に配置される。磁性層59a、59bは、さらに、磁性層59a及び59bと励磁コイル56が重なり、磁性層59aと検出コイル57aが重なり、さらに磁性層59bと検出コイル57bが重なるように、配置される。

【0086】基板51、55、絶縁層54、58はポリイミド樹脂などの有機材料あるいは SiO_2 、 Al_2O_3 などの無機材料で形成されている。

【0087】励磁コイル52、56と検出コイル53、57a、57bはCu、Alなどの導電性材料からなる。なお、磁性層59a、59bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0088】図3のフラックスゲートセンサにおいても、コイル層C1、磁性層59a、59b、コイル層C2の形状、位置関係は図1、図4、及び図5に示された第1の実施の形態のフラックスゲートセンサと同じである。従って、図3のフラックスゲートセンサも、第1の実施の形態のフラックスゲートセンサと同じ作用・効果を奏することができる。

【0089】図7は本発明の第4の実施の形態を示す断面図である。図7に示されたフラックスゲートセンサは、基板61上に絶縁層62を介してスパイラル形状の励磁コイル63と8の字コイル形状の検出コイル64とが同一平面上に形成されてコイル層C1が形成されている。検出コイル64は、励磁コイル63の内周側に形成されている。

【0090】さらに、コイル層C1上に絶縁層65を介して磁性層を形成する磁性層66a、66bが形成されている。磁性層66a、66bは、励磁コイル63と検出コイル64に重なる位置に配置される。磁性層66a、66b上に絶縁層67が積層されて磁性体66a、66bが保護される。

【0091】基板61はガラス、Si、 SiO_2 、 Al_2O_3 などで形成され、絶縁層62、65、67はポリイミド樹脂などの有機材料あるいは SiO_2 、 Al_2O_3 などの無機材料で形成されている。

【0092】励磁コイル63と検出コイル64はCu、Alなどの導電性材料からなる。なお、磁性層66a、66bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0093】図7のフラックスゲートセンサは、図1から図3に示されたフラックスゲートセンサとは異なり、コイル層が1層だけ形成された構造のものである。コイル層C1と磁性層66a、66bの形状、位置関係は、図4と同じである。

【0094】図7のフラックスゲートセンサは、検出コイル及び励磁コイルの総巻き数が図1から図3のフラックスゲートセンサよりも少なくなる点が異なるが、検出コイル64及び励磁コイル63を同一平面上で、容易かつ正確にパターン形成することができること、また、外

部磁界の印加方向を反磁界の影響の少ない方向にすることができるとは同じである。

【0095】外部磁界の方向と大きさを同時に検出するために、2軸フラックスゲートセンサが用いられる。本発明は2軸フラックスゲートセンサを構成することもできる。

【0096】図8は、本発明の第5の実施の形態の2軸フラックスゲートセンサの磁性層74a、74b、74c、74d、励磁コイル71、Y軸検出コイル72、及びX軸検出コイル73を上方から見た平面図である。また、図9は、本発明の第5の実施の形態の2軸フラックスゲートセンサの励磁コイル75、Y軸検出コイル76a、76b及びX軸検出コイル77a、77bを下方から見た平面図である。

【0097】本発明の第5の実施の形態の2軸フラックスゲートセンサでは、図8と図9に表された面どうしが絶縁層を介して対向している。

【0098】図8のY軸検出コイル72は、第1の検出コイル72aと第2の検出コイル72bが8の字コイル形状となるように接続されて形成されている。また、X軸検出コイル73は、第1の検出コイル73aと第2の検出コイル73bが8の字コイル形状となるように接続されて形成されている。

【0099】Y軸検出コイル72の第1の検出コイル72aは、図9のY軸検出コイル76aと重なり、第2の検出コイル72bは、図9のY軸検出コイル76bと重なりあう。また、X軸検出コイル73の第1の検出コイル73aは、図9のX軸検出コイル77aと重なり、第2の検出コイル73bは、図9のX軸検出コイル77bと重なりあう。

【0100】また、Y軸検出コイル72の第1の検出コイル72aの端部72a1とY軸検出コイル76aの端部76a1とが電気的に接続され、また、第2の検出コイル72bの端部72b1とY軸検出コイル76bの端部76b1とが電気的に接続される。従って、Y軸検出コイル76a、72、76bは直列に接続されている。

【0101】また、X軸検出コイル73の第1の検出コイル73aの端部73a1とX軸検出コイル77aの端部77a1とが電気的に接続され、また、第2の検出コイル73bの端部73b1とX軸検出コイル77bの端部77b1とが電気的に接続される。従って、X軸検出コイル77a、73、77bは直列に接続されている。

【0102】また、励磁コイル71の端部71aと励磁コイル75の端部75aとが、電気接続され、励磁コイル71と75は直列に接続されている。

【0103】図8に示されるように、磁性層74aは励磁コイル71の辺71cの上部に配置され、磁性層74bは励磁コイル71の辺71cに対向する辺71dの上部に配置されている。磁性層74cは励磁コイル71の辺71eの上部に配置され、磁性層74dは励磁コイル

71の辺71eに対向する辺71fの上部に配置されている。

【0104】これらの対向して配置された磁性層74a、74b、74c、及び74dのそれぞれの下部に第1の検出コイル72a、第2の検出コイル72b、第1の検出コイル73a、及び第2の検出コイル73bが重ねられている。また、磁性層74a、74b、74c、74dのそれぞれの上部にY軸検出コイル76a、76b、X軸検出コイル77a、77bが重ねられる。

【0105】また、磁性層74a、74b、74c、及び74dの上部に、励磁コイル75が重ねられる。

【0106】なお、交流励磁用の交流電流は、励磁コイル71の端部71bと励磁コイル75の端部75bから入力され、Y軸方向の出力電圧は、Y軸検出コイル76aの端部76a2とY軸検出コイル76bの端部76b2とから取り出され、X軸方向の出力電圧は、X軸検出コイル77aの端部77a2とX軸検出コイル77bの端部77b2とから取り出される。

【0107】2軸フラックスゲートセンサでは、図8の任意の方向から外部磁界を印加し、X軸方向及びY軸方向の出力電圧から基本波の偶数次の高調波成分を抽出して、X軸方向及びY軸方向の外部磁界の大きさを検出し、ベクトル和をとることによって、外部磁界の大きさ及び方向を検出することができる。

【0108】なお、前述の磁性層26a、26b、36a、36b、59a、59b、66a、66b、74a、74b、74c、74dは、1MHzでの透磁率が1000以上の磁性材料からなることが好ましい。

【0109】具体的には、磁性層26a、26b、36a、36b、59a、59b、66a、66b、74a、74b、74c、74dは、以下に示す軟磁性薄膜として形成されることができる。

【0110】1. 組成式が $F_{en}M_iO_j$ で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜。

【0111】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【0112】2. 組成式が $(Co_{1-c}Tc)_xM_yX_zO_w$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜。

【0113】ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選

ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【0114】3. 組成式が $Co_1Ta_nHf_n$ で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜。

【0115】ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2$ 、5の関係を満足するものである。

【0116】この他、Co-Fe-Si-B系のCo基アモルファス軟磁性薄膜が好ましく用いられる。

【0117】以下に、図1に示されたフラックスゲートセンサの製造方法を説明する。まず、基板21上に絶縁層22を介して励磁コイル23をスパイラル形状にパターン形成し、同時に励磁コイル23の内周側に検出コイル24を、励磁コイル23と同一平面上にパターン形成してコイル層C1を形成する。励磁コイル23及び検出コイル24は、メッキ法やスパッタ法などの方法を用いて形成することができる。また、検出コイル24を励磁コイル23の外周側に形成してもよい。

【0118】検出コイル24は、図4に示されるような8の字コイル形状となるように第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24bが互いに接続されたものとして形成される。

【0119】さらに、コイル層C1上に絶縁層25を介して磁性層を形成する磁性層26a、26bを、スパッタ法やメッキ法などによって形成する。

【0120】図4に示されるように、磁性層26a及び26bを、励磁コイル23の対向する辺の上部に配置する。また、磁性層26a及び26bを、それぞれ第1の検出コイル24a及び第2の検出コイル24bの上部に重ねるように配置する。

【0121】さらに、磁性層26a、26b上に絶縁層27を積層する。この絶縁層27上に、他の励磁コイルである励磁コイル28と他の検出コイルである検出コイル29a、29bとを同一平面上に、同時にパターン形成しコイル層C2を形成する。励磁コイル28は、励磁コイル23と重なる位置に形成される。検出コイル29a、29bは、検出コイル24と重なるように励磁コイル28の内周側に形成する。

【0122】また、励磁コイル28は、磁性層26a及び26bの上部に重ねられる。さらに、磁性層26aの上部に検出コイル29aが、磁性層26bの上部に検出コイル29bが重ねられる。

【0123】なお、絶縁層27を積層したところで、それ以上のコイル層の積層をしないようにすると図7のフラックスゲートセンサになる。

【0124】また、検出コイル24及び検出コイル29

19

a並びに検出コイル24及び検出コイル29bとを接続するための接続層(図示せず)を、絶縁層25及び27に形成し、検出コイル29a、24、29bは直列に接続する。

【0125】また、励磁コイル23及び励磁コイル28と接続するための接続層(図示せず)も絶縁層25及び27に形成し、励磁コイル23と28を直列に接続する。さらに、コイル層C2を、絶縁層30によって覆う。

【0126】基板21はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、絶縁層22、25、27、30はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0127】励磁コイル23、28と検出コイル24、29a、29bはCu、Alなどの導電性材料からなる。

【0128】なお、磁性層26a、26bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0129】図2に示されたフラックスゲートセンサの製造方法を説明する。まず、基板31上に絶縁層32を介してスパイラル形状の励磁コイル33と、検出コイル34とを同一平面上に同時にパターン形成し、コイル層C1を形成する。励磁コイル33及び検出コイル34は、メッキ法やスパッタ法などの方法を用いて形成することができる。また、検出コイル34を励磁コイル33の外周側に形成してもよい。

【0130】検出コイル34は、図4に示されるような8の字コイル形状となるように形成される。

【0131】さらに、コイル層C1上に絶縁層35を介して磁性層を形成する磁性層36a、36bをスパッタ法やメッキ法などによって形成する。

【0132】磁性層36a及び36bは、図1のフラックスゲートセンサと同様に励磁コイル33の対向する辺の上部に重ねて形成し、さらに、検出コイル34の上部に重ねるように配置する。

【0133】磁性層36a、36bを形成した後、磁性層36a、36bの隙間を絶縁材料37によって埋めて多層膜Aを形成する。

【0134】一方、他の基板である基板38上に絶縁層39を介して他の励磁コイルである励磁コイル40と他の検出コイルである検出コイル41a、41bとを、同一平面上に、同時にパターン形成しコイル層C2を形成する。励磁コイル40及び検出コイル41a、41bは、メッキ法やスパッタ法などの方法を用いて形成することができる。コイル層C2上に絶縁層42が積層して多層膜Bを形成する。

【0135】さらに、多層膜Aと多層膜Bを、磁性層36a、36bと絶縁層42とを対向させて貼り合わせ、図2に示されたフラックスゲートセンサを形成する。

【0136】なお、多層膜Aと多層膜Bとを貼り合わせ

20

るとき、励磁コイル33を励磁コイル40に重ねあわせ、さらに、検出コイル41a、41bを、検出コイル34に重ねあわせる。

【0137】また、磁性層36a及び36bと励磁コイル40が重なり、磁性層36aと検出コイル41aが重なり、さらに磁性層36bと検出コイル41bが重なるように多層膜Aと多層膜Bを貼り合わせる。

【0138】また、検出コイル34及び検出コイル41a並びに検出コイル34及び検出コイル41bとを接続するための接続層(図示せず)を、絶縁層35、絶縁材料37、及び絶縁層42に形成し、検出コイル41a、34、41bを直列に接続する。

【0139】また、励磁コイル33及び励磁コイル40と接続するための接続層(図示せず)も絶縁層35、絶縁材料37、及び絶縁層42に形成し、励磁コイル33と励磁コイル40を直列に接続する。

【0140】基板31、38はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、絶縁層32、35、39、42、及び絶縁材料37はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0141】励磁コイル33、40と検出コイル34、41a、41bはCu、Alなどの導電性材料からなる。

【0142】なお、磁性層36a、36bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0143】図3に示されたフラックスゲートセンサの製造方法を説明する。基板51上にスパイラル形状の励磁コイル52と、検出コイル53とを同一平面上に、同時にパターン形成し、コイル層C1を形成する。コイル層C1上に絶縁層54を積層して多層膜Aを形成する。

【0144】励磁コイル52及び検出コイル53は、メッキ法やスパッタ法などの方法を用いて形成することができる。また、検出コイル53を励磁コイル52の外周側に形成してもよい。

【0145】検出コイル53は、図4に示されるような8の字コイル形状となるように形成される。

【0146】一方、基板55上に他の励磁コイルである励磁コイル56をスパイラル形状にパターン形成し、同時に検出コイル57a、57bを励磁コイル56と同一平面上にパターン形成してコイル層C2を形成する。コイル層C2上に絶縁層58を積層して多層膜Bを形成する。

【0147】多層膜Aと多層膜Bを、基板51と基板55を対向させ、基板51と基板55の間に磁性層59a、59bを挟んで貼り合わせて、図3のフラックスゲートセンサを形成する。

【0148】多層膜Aと多層膜Bとを貼り合わせるとき、磁性層59a及び59bが、図1のフラックスゲートセンサと同様に励磁コイル52の対向する辺の上部に

21

重なるようにする。さらに、磁性層59a及び59bが検出コイル53の上部に重なるようにする。

【0149】また、磁性層59a及び59bと励磁コイル56が重なり、磁性層59aと検出コイル57aが重なり、さらに磁性層59bと検出コイル57bが重なるようにする。

【0150】また、多層膜Aと多層膜Bとを貼り合わせるとき、励磁コイル56を励磁コイル52に重ね合わせ、さらに、検出コイル57a、57bを、検出コイル53に重ねあわせる。

【0151】また、検出コイル53及び検出コイル57a並びに検出コイル53及び検出コイル57bとを接続するための接続層(図示せず)を、絶縁層51及び絶縁層55に形成し、検出コイル57a、53、57bを直列に接続する。

【0152】また、励磁コイル52及び励磁コイル56を接続するための接続層(図示せず)も基板51及び基板55に形成し、励磁コイル52と励磁コイル56を直列に接続する。

【0153】基板51、55、絶縁層54、58はポリイミド樹脂などの有機材料あるいは SiO_2 、 Al_2O_3 などの無機材料で形成されている。

【0154】励磁コイル52、56と検出コイル53、57a、57bはCu、Alなどの導電性材料からなる。

【0155】なお、磁性層59a、59bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄膜によって形成される。

【0156】また、図1から図3及び図7のフラックスゲートセンサのコイル層C1及びC2を図8及び図9に示された2軸フラックスゲートセンサ用のコイルで形成し、磁性層を図8に示された配置で形成すると、外部磁界の方向と大きさを検出できる2軸フラックスゲートセンサを形成できる。

【0157】なお、前述の磁性層26a、26b、36a、36b、59a、59b、66a、66b、74a、74b、74c、74dは、1MHzでの透磁率が1000以上の磁性材料で形成することが好ましい。

【0158】具体的には、磁性層26a、26b、36a、36b、59a、59b、66a、66b、74a、74b、74c、74dは、以下に示す軟磁性薄膜として形成できる。

【0159】1. 組成式が FenMiOj で表され、全組織の50%以上がアモルファス相であり、残部は平均結晶粒径が30nm以下のbcc構造のFe結晶粒である軟磁性薄膜。

【0160】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

22

【0161】2. 組成式が $(\text{Co}_{1-c}\text{Tc})_x\text{MyXzOw}$ で表され、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相と、Coと元素Tを主体とするbcc構造、fcc構造の1種または2種以上の結晶粒からなる微結晶相が混在した軟磁性薄膜。

【0162】ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【0163】3. 組成式が Co_lTamHfn で表され、アモルファス相を主体とした軟磁性薄膜。ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【0164】この他、Co-Fe-Si-B系のCo基アモルファス軟磁性薄膜帯を使用してもよい。

【0165】本発明のフラックスゲートセンサは、地磁気の測定や空中探査などに広く利用できる。具体的には、磁気探傷、回転体の位置及び角度測定、変位測定、車両検出、鉄片探知、電流測定、残留磁気測定などに用いることができる。

【0166】

【実施例】図10は、フラックスゲートセンサを用いて外部磁界を検出する装置のブロック図である。基本周波数の交流電源80がアンプ81を介してフラックスゲートセンサ82に励磁用の交流電流を供給し、フラックスゲートセンサの励磁方向に外部磁界 H_{ex} が印加される。フラックスゲートセンサの出力は差動電圧として取り出され、バンドパスフィルター83によって、基本周波数に対する偶数次の高調波成分のみを取り出す。基本周波数に対する偶数次の高調波成分の大きさが外部磁界の大きさに対応する。

【0167】図11は、図1に示された本発明のフラックスゲートセンサを用いて図10の装置を構成し、外部磁界の検出を行なった結果を示すグラフである。

【0168】励磁用の交流電流の周波数(基本周波数)を5.6MHzとし、励磁電流振幅を20mA、40mA、60mAと変化させた。

【0169】図11より交流電流が大きくなるにつれて出力が大きくなっていることが分かる。励磁電流振幅が60mAのときの感度は約0.006(V・m/A)である。

【0170】

50 【発明の効果】以上詳細に説明した本発明によれば、前

23

記検出コイルは前記励磁コイルと同一平面上に形成されているので、検出コイル及び励磁コイルを、段差を持たせた構造で形成する必要がなくなる。従って、前記検出コイル及び前記励磁コイルの形成が容易になり、正確にパターン形成することが可能になるので、製造上の誤差を小さくでき、不良品の発生率を抑えることができる。

【0171】また、本発明では、前記励磁コイルがスパイラル形状で形成されており、さらに前記磁性層が、前記励磁コイルの上部または下部に形成されているので、前記磁性層は前記励磁コイルから発生する磁界によって面方向に励磁される。従って、検出対象の外部磁界が前記磁性層の面方向に印加されたときに、最も外部磁界の検出感度が高くなる。前記磁性層の面方向は最も反磁界係数が低くなる方向なので、外部磁界が前記磁性層の面方向に印加されたときの反磁界の影響は小さく、外部磁界の検出感度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態を示す断面図。

【図2】 本発明の第2の実施の形態を示す断面図。

【図3】 本発明の第3の実施の形態を示す断面図。

【図4】 図1のフラックスゲートセンサの磁性層26a、26b、励磁コイル23、及び検出コイル24を図1の上方から見た平面図。

【図5】 図1のフラックスゲートセンサの励磁コイル28及び検出コイル29a、29bを図1の下方から見た平面図。

【図6】 図1のフラックスゲートセンサに図示X方向

24

から外部磁界 H_{ex} を印加したときのある瞬間における状態図。

【図7】 本発明の第4の実施の形態を示す断面図。

【図8】 2軸フラックスゲートセンサの磁性層、励磁コイル、及び検出コイルを上方から見た平面図。

【図9】 2軸フラックスゲートセンサの磁性層、励磁コイル、及び検出コイルを下方から見た平面図。

【図10】 フラックスゲートセンサを用いて外部磁界を検出する回路のブロック図。

10 【図11】 本発明のフラックスゲートセンサを用いて外部磁界を検出した結果を示すグラフ。

【図12】 フラックスゲートセンサの概念図。

【図13】 フラックスゲートセンサによる磁界検出の原理を説明するための図。

【図14】 フラックスゲートセンサによる磁界検出の原理を説明するための図。

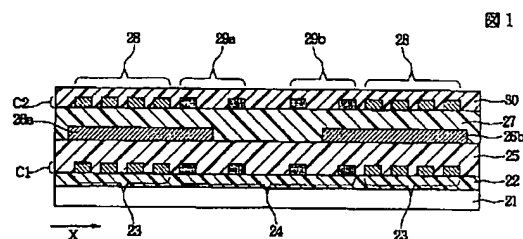
【図15】 従来のフラックスゲートセンサ。

【図16】 従来のフラックスゲートセンサ。

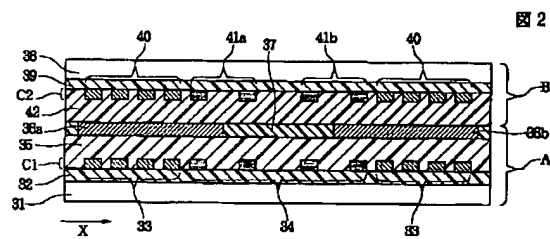
【符号の説明】

21 基板
22、25、27、30 絶縁層
23、28 励磁コイル
24、29a、29b 検出コイル
26a、26b 磁性層
C1、C2 コイル層
 H_{ex} 外部磁界

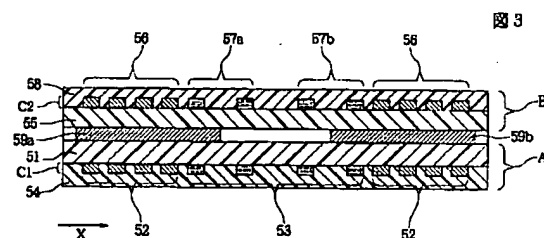
【図1】



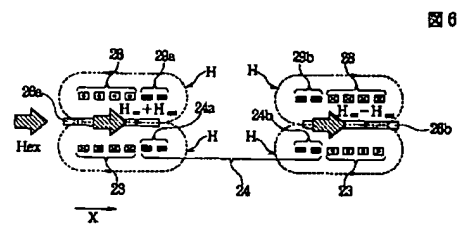
【図2】



【図3】



【図6】



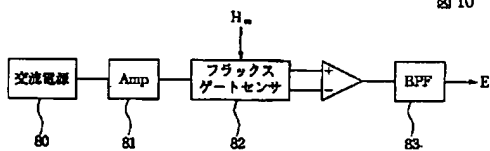
【図 1 1】



【図8】



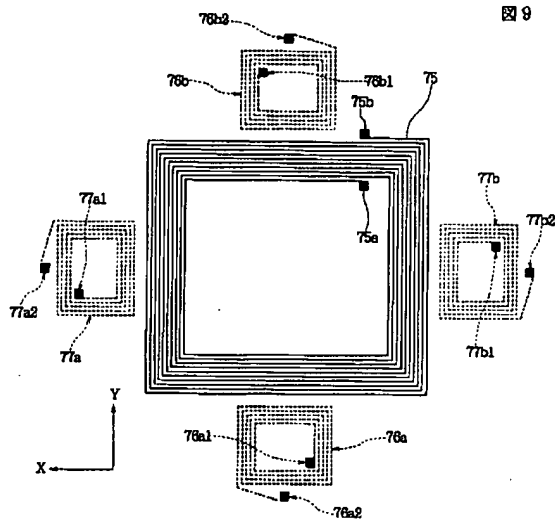
10



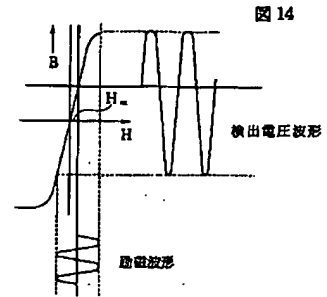
【図15】



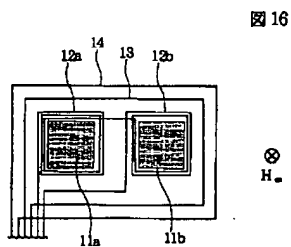
【図9】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 義人
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内

(72)発明者 畑内 隆史
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内